

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-285096  
 (43)Date of publication of application : 15.10.1999

(51)Int.CI.

H04R 17/00  
 A61B 8/00  
 B06B 1/02  
 G01N 29/24  
 H01L 41/09

(21)Application number : 10-086741

(22)Date of filing : 31.03.1998

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

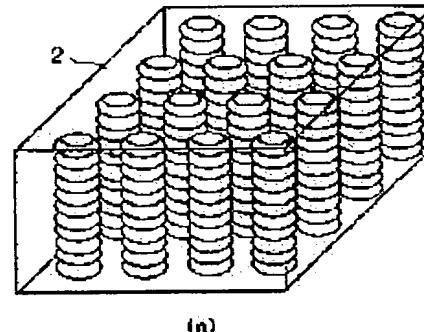
(72)Inventor : WAKABAYASHI KATSUHIRO  
 FUNAKUBO TOMOKI  
 SAWADA YUKIHIKO  
 ESASHI MASAKI  
 O SHIDAN

## (54) COMPOSITE PIEZOELECTRIC VIBRATOR

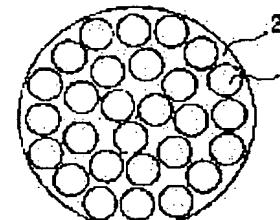
## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the adhesive strength between a resin and a piezoelectric body, to suppress unnecessary vibrations, and to obtain fineness and high density by providing projections on respective piezoelectric side faces of the composite piezoelectric vibrator including an organic substance charged between piezoelectric bodies which are arranged separately from one another and 1st and 2nd electrodes formed in contact with 1st and 2nd end surfaces of the piezoelectric bodies.

SOLUTION: The side face of each piezoelectric body 1 which contacts with the organic substance is increased and decreased in the size of the cross section of a rod 1 perpendicular to the longitudinal axis of the rod along the longitudinal axis to form a projection on the side face. Thus, the anchor effect between organic substances 2 increases, and the adhesive strength with the organic substance 2 is improved; and the durability of an ultrasonic wave probe is improved, and the bending resistance of a piezoelectric vibrator is improved, so that the deformation into a complicated shape such as a concave surface can be performed. At the same time, the diameter of the rod 1 is varied along the longitudinal axis, so that the resonance in the rod 1 in radial vibration mode being unnecessary vibration mode is suppressed. Further, only the vibration mode of the longitudinal axis of the rod 1 is generated and the vibration is excited as a piezoelectric vibrator only in the thickness direction.



(a)



(b)

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of

[rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-285096

(43)公開日 平成11年(1999)10月15日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H 04 R 17/00  
A 61 B 8/00  
B 06 B 1/02  
G 01 N 29/24  
H 01 L 41/09

識別記号  
3 3 2

F I  
H 04 R 17/00  
A 61 B 8/00  
B 06 B 1/02  
G 01 N 29/24  
H 01 L 41/08

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平10-86741

(22)出願日 平成10年(1998)3月31日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 若林 勝裕

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

(72)発明者 舟塙 朋樹

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

(72)発明者 沢田 之彦

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

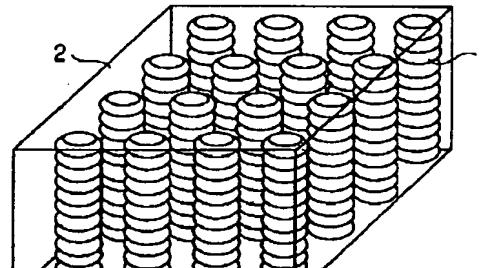
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 複合圧電振動子

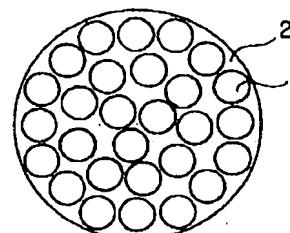
(57)【要約】

【課題】 樹脂と圧電体との間の密着性が高く、不要な振動が発生しない、微細で高密度化された複合圧電振動子を提供する。

【解決手段】 互いに離間に配置された圧電体と、該圧電体の間に充填された有機物と、該圧電体の第1の端面および第2の端面にそれぞれ接して形成された第1および第2の電極とを含む複合圧電振動子において、各圧電体の側面が起伏を有することを特徴とする複合圧電振動子。



(a)



(b)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】互いに離間に配置された圧電体と、該圧電体の間に充填された有機物と、該圧電体の第1の端面および第2の端面にそれぞれ接して形成された第1および第2の電極とを含む複合圧電振動子において、各圧電体の側面が起伏を有することを特徴とする複合圧電振動子。

【請求項2】少なくとも1つの該圧電体が他の該圧電体と異なる体積を有することを特徴とする請求項1記載の複合圧電振動子。

【請求項3】第1の電極および第2の電極のうち、少なくとも一方の電極が複数に分割されていることを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電振動子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、超音波探触子等に用いる複合圧電振動子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】超音波探触子の構造は、『医用超音波機器ハンドブック』((社)日本電子機械工業会編、コロナ社、1985.4.20、p186)に示される様に、両面に電極を形成した圧電セラミックス板からなる圧電素子、該圧電素子の超音波を送受する側の面に形成された音響整合層および音響レンズ、ならびに該圧電素子の背面側に形成された背面負荷材が一体化された構成となっている。

【0003】超音波探触子の駆動は、上記圧電素子にパルサから百～数百ボルト程度の電圧の駆動パルスを印加して、該圧電素子を逆圧電効果により急速に変形させ、変形により励起された超音波パルスを音響整合層および音響レンズを経て放射することにより行われる。

【0004】発振された超音波パルスは、対象物から反射された後に該音響レンズおよび音響整合層を経て圧電素子に再入射し、圧電素子を振動させる。超音波パルスを反射する対象物としては、医療用途に関しては体内的各組織の界面であり、また非破壊検査用に関しては被測定物内部の傷等の非連続部である。再入射した超音波パルスにより発生した圧電素子の機械的振動は、圧電効果により電気信号に変換されたのち、観測装置に送られて画像化される。

【0005】一般的には、この超音波探触子には圧電セラミックスが用いられるが、近年圧電セラミックスと樹脂とを複合化した複合圧電体のロッドが、電気-機械エネルギー変換器として実際に利用され始めている。

【0006】従来、複合圧電体のロッドの製造方法の一つの例として、特開昭60-85699(以下、先行文献1と記す)に示されているように、バルクの圧電体をダイシングして製造する方法がある。すなわち、ジルコン酸チタン酸鉛等のバルクの圧電体を接着剤を用いて基台に貼り付けたのち、基台上のバルク圧電体をダイシ

ング装置を用いてマトリクス状にダイシングする。そして、ダイシングによりできた溝の部分にエポキシやウレタン製の樹脂を充填して硬化した後に、ダイシングしたバルク圧電体を基台から取り外して、複合圧電体のロッドを得る。この方法には、圧電体をダイシングにより裁断してから溝に樹脂を充填して硬化したのちに圧電体を基台から取り外して複合圧電体のロッドを得る方法と、圧電体の途中までダイシングしてから樹脂を充填して硬化した後、圧電体を基台から取り外して研削もしくはスライスして複合圧電体のロッドを得る方法がある。

【0007】また、複合圧電体のロッドの製造方法の別の例として、『Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 (1997) pp. 6062-6064』(以下、先行文献2と記す)に示されているように、ディープX線リソグラフィー、メッキおよび樹脂モールドを組み合わせて高アスペクト比の圧電体ロッドを形成し、形成した圧電体ロッド間に樹脂を充填して複合圧電振動子を製造する方法がある。

【0008】具体的には、はじめにディープエッチX線リソグラフィーにより、400μmの厚みのMMA(メタクリル酸メチル)/MAA(メタクリル酸)共重合体からなるレジスト膜を作製する。

【0009】次に、該レジスト膜にマスクを介してシンクロトロン放射光を照射したのち現像して、複数の穴が開口されたレジスト構造体を得る。レジスト構造体の複数の穴にPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)スラリーの注入を行う。スラリーの注入は、上記レジスト構造体を樹脂型として用い、PZT粉体、バインダー、および水からなるPZTスラリーを該穴に注入して行う。

【0010】PZTスラリーを室温で乾燥固化させてPZTグリーン体を得る。その後、酸素プラズマによって樹脂型のみを除去して、PZTグリーン体を残す。残ったPZTグリーン体を500°Cで脱脂(バインダー除去)し、1200°Cで本焼成を行う。焼成の結果、直径20μm、高さ140μmの形状の複数のPZTロッドからなるPZTロッドアレイが形成される。

【0011】次に、このロッドアレイにエポキシ樹脂を真空含浸して硬化させる。硬化させた後、ロッドアレイの上下面をPZTロッドの両端の表面が露出するまで研磨して平坦化し、平坦化した上下両面に金電極をスピッタリングにより成膜する。そして、ロッドアレイをオイルバス中に浸漬した状態で電極に電圧を印加して分極処理を行い、圧電性が付与された複合圧電振動子を得る。得られた振動子の周波数定数は、700kHz・mm以下であり、小型・薄型な振動子を作製することが出来る。

【0012】しかし、上述の従来の方法によって製造された複合圧電体のロッドには以下のようない不具合があつた。

50 (1) 先行文献1に記載された方法により作製された複

合圧電体のロッドにおいては、ダイシングにより圧電体ロッドの径を小さくしすぎると圧電体ロッドが壊れやすくなるために、圧電体ロッドの径を例えば $100\mu\text{m}$ 以下にすることは困難であった。圧電体ロッドの径をあまり小さくできないために、アスペクト比を上げた複合圧電振動子を作製することが難しく、診断装置の分解能を向上させるために必要な、周波数を上げた複合圧電体のロッドを製造することには限界があった。

【0013】また、圧電体ロッドをダイシングによって作製するために圧電体ロッドの側面は平滑面となり、樹脂との接着にはアンカー効果が期待できず、密着が不十分となり耐久性に問題があった。

【0014】さらに、圧電体ロッドをダイシングによって作製するために、圧電体ロッドは多角形を基本とする長手軸に沿ってまっすぐな形状のものしか得られず、そのため圧電体ロッド内で長手軸に垂直な方向に振動する不要な振動モードが発生し、探触子とした際にノイズの原因となることが多かった。

【0015】(2) 先行文献2に記載された方法により作製された複合圧電体のロッドにおいては、圧電体ロッドが焼成時に倒れないようにするために、圧電体ロッドの径は数十 $\mu\text{m}$ が限界であった。このため、圧電体ロッドのアスペクト比を大きくすることが難しく、周波数を上げた複合圧電体のロッドを得ることには限界があった。

【0016】また、圧電体ロッドは樹脂型から作製するために、圧電体ロッドの側面は平滑面でかつ決まった方向の傾きのみが許される。そのため、圧電体ロッドと樹脂との間の接着にはアンカー効果が期待できず、密着が不十分となり耐久性に問題があるとともに、圧電体ロッドの形状にも制限が多かった。

【0017】さらに、樹脂型を使用した際にはホットプレスやH.I.P.がかけられないために、高密度化を達成できず、本来持つ圧電体ロッドの特性を十分に引き出すことができないでいた。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、樹脂と圧電体との間の密着性が高く、不要な振動が発生しない、微細で高密度化された複合圧電振動子を提供することである。

【0019】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明においては、互いに離間に配置された圧電体と、該圧電体の間に充填された有機物と、該圧電体の第1の端面および第2の端面にそれぞれ接して形成された第1および第2の電極とを含む複合圧電振動子において、各圧電体の側面が起伏を有することを特徴とする複合圧電振動子ことを特徴とする複合圧電振動子が提供される。

【0020】本発明においては、少なくとも1つの該圧

電体が他の該圧電体と異なる体積を有することが好ましい。また、本発明においては、第1の電極および第2の電極のうち、少なくとも一方の電極が複数に分割されていることが好ましい。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明を詳細に説明する。図1は、本発明に係る複合圧電振動子の一例を示す図であって、図1(a)はその概略斜視図であり、図1(b)はその平面図である。

【0022】複合圧電振動子は、互いに平行な複数の圧電体ロッド1、各圧電体ロッド1間に充填された有機物2、およびロッド1の両端を含む上下面に形成された電極(図示せず)からなっている。

【0023】圧電体ロッド1は、長手軸を互いに実質的に平行にして互いに離間に配置され、それぞれ長手軸と実質的に直行する第1の端面と第2の端面を有している。また、有機物2は、それぞれの圧電体ロッド1の第1および第2の端面が露出するように圧電体ロッド1間に充填されている。さらに電極は、有機物2と、各圧電体ロッド1の第1の端面および第2の端面にそれぞれ接して形成された第1および第2の電極を有している。

【0024】本発明に係る複合圧電振動子は、各圧電体ロッド1の有機物2と接触する側面が起伏を有するように形成されている。側面の起伏としては、例えば、ロッド1の長手軸に垂直なロッド1の断面の大きさが、ロッド1の長手軸に沿って増減することで形成されるようなものである。

【0025】圧電体ロッド1の側面が起伏を有しているために、有機物2との間でのアンカー効果が高まり有機物2との密着強度が向上する。そのため、最終的に作製された超音波深触子の耐久性が向上する。また、密着強度が向上するために圧電振動子の曲げに対する強度が向上し、凹面状をはじめとする複雑な形状に圧電振動子を変形させることが可能となる。

【0026】また、圧電体ロッド1の側面が起伏を有することで、圧電体ロッド1の径が長手軸に沿って変化している。ロッド1の径が長手軸に沿って変化しているために、不要な振動モードである径方向の振動モードがロッド1内で共振することが抑えられる。径方向の振動モードが抑えられるため、ロッド1の長手軸の振動モードのみを発生させて、複合圧電振動子としても厚み方向にのみ励振させることができる。複合圧電振動子が厚み方向にのみ振動することで、最終的な超音波深触子の分解能を向上させることが可能となる。

【0027】図2は、図1に示した複合圧電振動子を用いて作製した超音波探触子の先端部の一例を示す概略断面図である。図2において、超音波深触子は、以下のよう構造となっている。つまり、導電性を有するハウジング5の内面に固定された絶縁筒6内に、背面負荷材7が挿入されている。背面負荷材7の前面に曲率を持たせ

た複合圧電振動子8が固定されている。さらに、音響放射面となる複合圧電振動子8の前面に音響整合層9が取付けられている。この音響放射面である複合圧電振動子8の前面は、導電性樹脂、または半田とリード線10などによってハウジング5に結線されている。シグナル側となる複合圧電振動子8の背面には、外部からのリード線11の信号線が結線されている。リード線11のGND(グランド)線は、またハウジング5にも結線されている。

【0028】図2に示した超音波深触子は、前述したように、有機物2と接触する側面が起伏を有する圧電体ロッド1を使用しているため、耐久性が高く、また高分解能を有している。

【0029】次に、図1に示した複合圧電振動子の製造方法について、以下に説明する。この製造方法は、ロストモールド法であり、以下の工程からなる。すなわち、(1)シリコン型を作成する工程、(2)PZTスラリーをキャスティングする工程、(3)HIP処理をする工程、(4)シリコン型を除去する工程、(5)有機物を充填する工程、および(6)研磨、電極付与、圧電性付与を行う工程である図3～5を参照して、各工程について詳細に説明する。

#### 【0030】(1)シリコン型を作成する工程

図3(a)に示すように、シリコン(Si)基板20上にフォトレジスト2121を塗布する。レジスト21層に所望のパターンを露光したのちに現像する。パターンは、製造する圧電体ロッド1の形状、寸法によるが、例えば、円柱形状の圧電体ロッド1の径に対応した複数の円形などが挙げられる。また、円形などのパターンの寸法は特に限定されない。

【0031】次に、図3(b)～(c)に示すように、ディープRIE(反応性イオンエッティング)法により、レジスト21層のパターンに従ってシリコン基板に穴2を開ける。

【0032】ディープRIE法は、マスキングとエッティングを繰り返すことにより、アスペクト比が大きくシリコン基板面に対して垂直な側面を有する穴22を形成することができるエッティング方法であり、当該技術分野で良く知られている方法である。

【0033】ディープRIE法は、マスキングとエッティングの条件を調整することにより、一回のエッティングで、図3(b)に示すような側面がややエッティングされた穴22を形成することができる。

【0034】そして、条件を変えながらマスキングとエッティングを繰り返すことにより、図3(c)に示すように起伏のある側面を有する深い穴22を形成することができる。

【0035】所定の深さの穴22を形成したのち、現像してレジスト21層を除去することで、図4(a)に示したようなシリコン型23が得られる。図4(a)のシ

リコン型23に形成された穴22は、穴22の深さ方向に垂直な断面の大きさが穴22の深さ方向に沿って増減することで起伏している側面を有している。なお、穴22の深さは、製造する圧電体ロッド1の形状、寸法によるが、例えば120μmである。また、穴22はシリコン基板を貫通していても良いし、貫通していないくとも良い。

【0036】なお、図6に示したように、穴22を開けた後に、穴22底部および穴22側面部を含めたシリコン型23表面に、窒化シリコンまたは酸化シリコンなどからなるセラミクス保護膜24を設けることが好ましい。シリコン型23表面にこのようなセラミクス保護膜24を設けることにより、後述する(3)HIP処理をする工程において圧電セラミクスとシリコン型23との反応を最小限に抑えることができる。

#### 【0037】(2)圧電セラミクスのスラリーをキャスティングする工程

図4(b)に示すように、圧電セラミクス25のスラリーを、超音波攪拌などによる加振によってまたは減圧脱泡によって、(1)の工程で作成したシリコン型23に流し込む。スラリーは、圧電セラミクス25粉体、バインダーおよび水などから構成される混合物からなる。

【0038】圧電セラミクス25としては、圧電性が得られるセラミクス材料であれば特に限定はされない。このようなセラミクス材料としては、例えばPZT(チタン酸ジルコニア酸鉛)系材料などが挙げられる。PZT系材料を使用した場合には、例えば周波数定数が、Ntが約2000Hz-m、N33が約1300Hz-mの材料を用いることができる。

【0039】バインダーとしては、PVA(ポリビニルアルコール)などが挙げられる。スラリーの流し込みは、シリコン型23の穴22に圧電セラミクス25を充填するとともに、圧電セラミクス25が充填されたシリコン型23の上を圧電セラミクス25が覆うようを行う。シリコン型23の表面を覆う圧電セラミクス25は、それぞれの穴22に充填された圧電セラミクス25と一体化される。

【0040】次に、シリコン型23に流し込んだスラリーを乾燥させて、圧電セラミクス25をグリーン状態とする。乾燥方法としては自然乾燥などが挙げられる。最後に、グリーン状態の圧電セラミクス25を脱脂する。脱脂とは圧電セラミクス25粉体のバインダーなどの有機物2を除去することである。脱脂の方法としては、空気中で高温に保つ方法などが挙げられる。なお、脱脂した状態では、穴22の中の圧電セラミクス25の密度は十分には高くない。

#### 【0041】(3)HIP処理をする工程

前述の脱脂した試料にHIP(ホットアイソスタティックプレシング:熱間等方圧プレス)処理を行う。HIP処理はシリコン型23中の圧電セラミクス25粉体の密

度を大きくするためであり、当該技術分野で良く知られた方法で行うことができる。

【0042】図7および図8にHIP処理の手順を示す。なお、図7および図8においては、穴22の起伏のある側面を省略してある。最初に、図7に示すようにして、試料にCIP（コールドアイソスタティックプレッシング）処理を行う。つまり、図4（b）の脱脂した試料をBN（窒化ボロン）粉末などの反応性の低い保護用セラミクス粉体26で包み込んだ後、ゴムチューブ27、テープ28で周囲を包んで保持する。この試料を水中に置き、例えば約100MPaの等方圧をかける。CIP処理によって、圧電セラミクス25粉体をかなり高密度に圧縮することができる。

【0043】次に、図8（a）に示すようにして、保護用セラミクス粉体26で包んだ試料をパイレックスガラスなどのガラスカプセル29内に封じ込める。つまり、ガラス管30の中の真空度が $10^{-3}$ Pa以下になるまで排気を行い、次にガラス管30を約750℃まで加熱し試料を包むようにガラス管30を軟化させる。その後、ガスバーナーでガラスカプセル29をガラス管30から切り離す。保護用セラミクス粉体26によって試料を包み込むことで、ガラスカプセル29内への封じ込め時、または次のHIP処理時に、試料とガラスカプセル29の間の反応を防ぐことができる。

【0044】なお、保護用セラミクス粉体26としては窒化ボロンに限らず、該試料とガラスカプセル29との間の反応を防いだり、それ自身がシリコンや圧電セラミクス25との反応性が低いようなセラミクス材料ならば他の材料でも構わない。

【0045】最後に、図8（b）に示すようにして、試料にHIP処理を行う。つまり、試料を封じ込めたガラスカプセル29をArなどの不活性ガス中で加熱しながら、このカプセル29に等方圧を印加する。

【0046】HIP処理の際の、試料に印加する温度と圧力のプログラムの一例を図9に示す。最初に、例えば約1MPaの低い圧力をかけながら、試料の温度をガラスの軟化点（パイレックスガラスの場合、約750℃）まで上昇させる。

【0047】次に、温度と圧力を同時に上昇させて、圧電セラミクス25粉体が焼結する温度（PZT粉体の場合、約1000～1100℃）および約70MPa～100MPaの高圧力を印加する。そして、この状態のもとで例えば約2時間、保持する。

【0048】上述したHIP処理の後、温度、圧力を徐々に下げる。所定の温度、圧力まで下がった後に、試料をガラスカプセル29および保護用セラミクス粉体26から取り出す。

【0049】なお、前述したように、（1）のシリコン型23を作成する工程で、窒化シリコンまたは酸化シリコンなどからなるセラミクス保護膜24をシリコン型2

3に設けておくことによって、HIP処理の際に、圧電セラミクス25とシリコン型23との間に相互拡散などの反応が起きることを最小限に抑えることができる。反応が抑えられることで、圧電セラミクス25の成分、例えばPZT中の鉛などがシリコン型23中へと拡散して圧電セラミクス25の圧電性が失われることなどを抑制することが可能となる。

【0050】（4）シリコン型23を除去する工程

図4（c）に示すように、HIP処理を行った試料を、10 XeF<sub>2</sub>ガスなどのエッティング材を用いてエッティングし、圧電セラミクス25を残してシリコン型23のみをエッティング除去する。XeF<sub>2</sub>ガスは、PZTなどの圧電セラミクス25を残してシリコンのみを選択的にエッティングすることができるエッティング材である。

【0051】以上説明した（1）～（4）の工程によって、例えば図4（c）に示すように、側面が起伏を有する概略柱状の圧電体ロッド1を圧電セラミクス25板の上に林立させた構造を製造することができる。なお、図4（c）に示した構造以外の圧電体ロッド1について20も、上述の方法によって同様にしてシリコン型23から製造できることは言うまでもない。

【0052】本発明に係る圧電体ロッド1の製造方法においては、シリコンからなる型を使用している。そのため、高温・高圧下で圧電セラミクス25を充填することができる。

【0053】すなわち、シリコン型23に圧電セラミクス25を充填したまま、高圧下で圧電セラミクス25を焼成することができる。これは、シリコンの融点（約1414℃）が圧電セラミクス25の焼結温度（PZTの場合、約1000℃）よりも十分に高く、またシリコンの強度が十分に高いために、高温・高圧下でもシリコン型23が溶融または変形しないからである。

【0054】圧電セラミクス25を高圧下で焼成するため、高密度な圧電体ロッド1を得ることが可能となる。また、型に圧電セラミクス25を充填したまま焼成できるため、圧電セラミクス25の持つ初期内部応力や構造のわずかな非対称性等によって焼成後の圧電セラミクス25が傾くということを防ぐことができる。また、密度の高く均一な圧電セラミクス25を得ることが出来るため、初期内部応力のバラツキに起因する焼成後の圧電セラミクス25の傾斜を防止できる。このように、圧電セラミクス25が焼成後に変形しないので、所望の微細で高精度な形状の圧電体ロッド1を得ることが出来る。そのために、理想に近い状態の圧電定数、電気機械結合係数等の圧電特性が得られるとともに、抗接強度および、絶縁耐圧が向上する。

【0055】また、焼成後に圧電セラミクス25が傾かないため、アスペクト比の高い圧電体ロッド1を成形しても、焼成後にロッド1が互いに接触することがない。従って、数十μm程度の細い形状のアスペクト比の高い

圧電体ロッド1を容易に成形することができる。

【0056】さらに、シリコン型23はエッチング処理によって成形後に容易に除去することができる。

(5) 有機物2を充填する工程

図4 (d) に示すように、図4 (c) に示す圧電体ロッド1の間隙に、有機物2を充填する。有機物2としては、圧電体セラミクス25との密着強度の高い有機物2であれば特に限定されないが、柔軟性のある有機物2が好ましい。このような有機物2としては、例えばエポキシ樹脂、ウレタン樹脂、シリコーン樹脂などが挙げられる。

【0057】有機物2の充填の仕方としては、圧電体ロッド1を密閉容器の中に置いて容器内を真空引きしながら、容器に別に設けた注入口から有機物2を注入して、圧電体ロッド1に有機物2を充填する方法などが挙げられる。充填した後、有機物2を加熱などによる硬化などによって固化させる。

【0058】(6) 研磨、電極付与、圧電性付与を行う工程

図4 (d) に示すように、有機物2を充填した圧電体ロッド1を、例えば破線部Aまで研削・研磨して圧電セラミクス25板を除去し、圧電体ロッド1と有機物2の両方を露出させる。このようにして作製した圧電体ロッド1と有機物2の複合体の厚みは、例えば約100μmである。

【0059】次に、図5に示すようにして、圧電体ロッド1が露出した試料の上下面に電極35を設ける。電極35としては、電極35の形成時に有機物2に大きなダメージを与えないものであれば特に限定されない。このような電極35の材料としては、金属材料、化合物材料などが挙げられる。金属材料としては、例えば、金、銅、チタン、ニッケル、銀、白金、およびこれらを組み合わせたクロム／金などの積層体が挙げられる。化合物材料としては、例えばITO(酸化インジウム錫)などが挙げられる。電極35の形成の仕方としては特に限定されないが、例えばスパッタリング、蒸着、イオンプレーティングなどが挙げられる。

【0060】電極35を設けたのち、電極35間にDC電圧を印加して圧電体ロッド1の分極処理を行って圧電体ロッド1に圧電性を付与する。最後に、外形加工を行うことにより、図1に示したような複合圧電振動子を完成させる。

【0061】前述したように、本発明に係る複合圧電振動子は、圧電セラミクス25の密度が高く、微細・高精度な形を有し、またアスペクト比の高い圧電体ロッド1を用いている。

【0062】圧電セラミクス25の密度が高いために、複合圧電振動子の性能を高くすることができる。また、圧電体ロッド1が微細・高精度な形を有しているため、複合圧電振動子自体も容易に小型化することができる。

さらに、圧電体ロッド1のアスペクト比が高いために、複合圧電振動子の発振音圧を高くでき、ひいては発振信号のS/N比を高くすることができる。

【0063】なお、前述の(1)のシリコン型23を作製する工程での図3 (b) ~ (c) に示したディープRIE法において、レジスト21層のパターンを変えることで、形成された圧電体ロッド1の側面の起伏をいろいろな形状にすることができる。

【0064】図10に例を示す。例えば円形のパターンを用いれば、図10 (a) に示したように、ロッド1の長手軸に垂直なロッド1の断面が円形を保ったまま、この断面の大きさがロッド1の長手軸に沿って増減することで側面が起伏している概略柱状のロッド1が得られる。また、四角形のパターンを用いれば、図10 (b) に示したように、該垂直な断面が四角形を保ったまま、この断面の大きさが長手軸に沿って増減することで側面が起伏している概略柱状のロッド1が得られる。さらに、扇型のパターンを用いれば、図10 (c) に示したように、該垂直な断面が扇型を保ったまま、この断面の大きさが長手軸に沿って増減することで側面が起伏している概略柱状のロッド1が挙げられる。

【0065】なお、ロッド1の側面の起伏は、ロッド1の高さに垂直なロッド1の断面の大きさがロッド1の長手軸に沿って周期的に増減するようなものであっても良い。さらに、ディープRIE法においてマスキングとエッチングの条件を変えてエッチングを繰り返すことにより、起伏のある側面を有するロッド1を、概略柱状以外の他の形状にすることもできる。

【0066】図11に例を示す。図11は、レジスト230層のパターンとして円形パターンを用いた場合であるが、パターンとしては他の形状のものでも良い。例えば、図11 (a) に示したように、ロッド1の長手軸に垂直な断面の大きさがロッド1の長手軸に沿って増加と減少を繰り返しながら、この増加する量が減少する量よりも常に大きいようなロッド1形状を得ることができる。この場合、該垂直な断面積の増減の繰り返しによりロッド1の側面は起伏しているが、それとともに、ロッド1の該垂直な断面積は平均として長手軸に単調増加している。

【0067】また、図11 (b) に示したように、ロッド1の長手軸に垂直な断面の大きさがロッド1の長手軸に沿って増加と減少を繰り返しながら、最初はこの増加する量が減少する量よりも大きいが、途中で増加する量が減少する量よりも小さくなるようなロッド1形状を得ることができる。この場合、該垂直な断面積の増減の繰り返しによりロッド1の側面は起伏しているが、それとともに、ロッド1の該垂直な断面積は平均として長手軸に増加および減少している。

【0068】さらに、図11 (c) に示すように、図150 (b) に示したロッド1形状が繰り返された形状のロ

ッド1形状を得ることも可能である。以上、説明したように、一つの圧電体ロッド1の径が長手軸に沿って変化することで、前述したように、ロッド1の径方向の不要な振動モードが抑制され、探触子として作製した際に高分解能化が図られる。

【0069】また、本発明に係る複合圧電振動子は、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有することが好ましい。圧電体ロッド1の体積が異なると圧電体ロッド1の共振周波数が異なり、圧電体ロッド1が送受する超音波の周波数が異なる。従って、少なくとも1つの該圧電体ロッド1が他の該圧電体ロッド1と異なる体積を有することで、振動子全体としての帯域が広くなり、探触子とした際に比帶域が広がる。

【0070】少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有するというのは、複数の例えば100本の圧電体ロッド1のうち1本だけが他の例えば99本の圧電体ロッド1と異なる体積を有していくても良いし、複数の例えば100本の圧電体ロッド1のうち2本だけが他の例えば98本の圧電体ロッド1と異なる体積を有していくても良いし、または、複数の例えば100本の圧電体ロッド1がすべて異なる体積を有していくても良いという意味である。

【0071】このように少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有する複数の圧電体ロッド1を配列する仕方としては、特に限定されない。例えば、最も小さい体積を有する圧電体ロッド1を中心にして、その周りに放射状に圧電体ロッド1の体積が増加するように圧電体ロッド1が配置されていても良い。また、最も大きい体積を有する圧電体ロッド1を中心部にして、その周りに放射状に圧電体ロッド1の体積が減少するように圧電体ロッド1が配置されていても良い。または、ある圧電体ロッド1を中心部にして、その周りに放射状に圧電体ロッド1の体積が増加と減少を繰り返すように圧電体ロッド1が配列されていても良い。または、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有する複数の圧電体ロッド1が振動子内で不規則に配列されていても良い。

【0072】図12に、最も小さい体積を有する圧電体ロッド1を中心部にして、その周りに放射状に圧電体ロッド1の体積が増加するように圧電体ロッド1が配置されている複合圧電振動子の例を示す。中心部の圧電体ロッド1は体積が小さいために、例えば細い棒の縦振動(N33)モードで振動し、圧電体ロッド1の共振周波数としては例えば約13MHzとなる。一方、外周部の圧電体ロッド1は体積が大きいために、例えば板の厚み振動(Nt)モードで振動し、圧電体ロッド1の共振周波数としては例えば約20MHzとなる。また、中心部と外周部の中間に位置する圧電体ロッド1は、その体積がやはり中心部のものと外周部のものの中間であり、

共振周波数も例えば約13MHzと約20MHzの中間の値を取る。

【0073】このように少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有する複数の圧電体ロッド1を作製する方法としては、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる径を有するように複数の圧電体ロッド1を形成するか、または少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる長手方向の長さを有するように複数の圧電体ロッド1を形成することなどが挙げられる。

【0074】少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる径を有するように複数の圧電体ロッド1を形成する場合には、前述の(1)シリコン型23を作成する工程において、少なくとも1つの穴22が他の穴22と異なる径を有するような複数の穴22を有するレジスト21パターンを用いれば良い。そして、小さな径の圧電体ロッド1に対応する穴22は小さな径でパターニングし、大きな径の圧電体ロッド1に対応する穴22は大きな径でパターニングする。例えば、圧電体ロッド1の体積が中心部で小さく外周部で大きいようにするために、一例としては中心部で20μmの小さな径、外周部で直径300μmの大きな径を有するような複数の大きさのパターンを用いれば良い。

【0075】少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる長手方向の長さを有するように複数の圧電体ロッド1を形成する場合には、前述の(1)シリコン型23を作成する工程において、シリコン基材上に複数の穴22を一度にパターニングせずに、異なる長さの長手方向を有する圧電体ロッド1に対応する穴23ごとに、パターニングしてエッチングすれば良い。そして、高さが小さい圧電体ロッド1に対応する穴22はエッチングにより浅く形成し、高さが大きい圧電体ロッド1に対応する穴22はより深く形成すれば良い。

【0076】もしくは、同一高さの圧電体ロッド1を作製し、有機物充填後の研削工程で、片面もしくは両面が凹面状もしくは凸面状となるように研削加工して複合圧電振動子を作製すれば良い。

【0077】このように、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる長手方向の長さを有するように複数の圧電体ロッド1を形成することで、例えば、片面のみが凹型である複合圧電振動子、または片面のみが凸型である複合圧電振動子、または両面が凹型または凸型である複合圧電振動子を形成することができる。

【0078】なお、上述した、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる径を有するように複数の圧電体ロッド1を形成する方法、および少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる長手方向の長さを有するように複数の圧電体ロッド1を形成する方法は併用しても良い。

【0079】なお、ここで説明した発明の実施の形態の各構成は、当然、各種の変形、変更が可能である。また、本発明に係る複合圧電振動子は、圧電体ロッド1の2つの端面にそれぞれ接して形成された2つの電極35のうち、少なくとも一方の電極35が複数に分割されていることが好ましい。そして、分割された電極35ごとに独立して、圧電体ロッド1を駆動させるための電圧を印加し、圧電体ロッド1からの信号を受信できることが好ましい。

【0080】電極35を分割することで、超音波を送受する圧電体ロッド1の面積および位置が異なる複数のものを、一枚の複合圧電振動子の中に配置することができるため、超音波深触子としての性能を高めることができる。

【0081】例えば、超音波の焦点を切換えることができる。つまり、例えば、分割した電極35の一部を使用して複合圧電振動子内的一部の圧電体ロッド1のみを駆動すれば、細い超音波ビームを発振させることができ、近距離の対象物との間で超音波を送受することができる。また、電極35のすべてを使用して全部の圧電体ロッド1を駆動すれば、強力な超音波ビームを発振させることができ、遠距離の対象物との間で超音波を送受することができる。

【0082】特に、前述した少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有する複数の圧電体ロッド1の異なる体積の圧電体ロッド1ごとに電極35を分割して、分割した電極35ごとに独立して信号をやりとりできることが好ましい。

【0083】前述したように、圧電体ロッド1の体積が異なると、圧電体ロッド1が送受する超音波の周波数が異なる。従って、異なる体積の圧電体ロッド1ごとに異なる電極35を設けることで、異なる周波数の超音波を一つの圧電体振動子で送受することができる。

【0084】高い周波数の超音波は分解能は高いが、音波の減衰が大きいために深達度が浅い。一方、低い周波数の超音波は分解能は低いが深達度が深い。従って、異なる体積の圧電体ロッド1ごとに電極35を分割して、分割した電極35ごとに独立して信号をやりとりすれば、一枚の振動子で多周波の機能を有するとともに、音響放射軸を合わせることが容易となり、超音波深触子として観察している時に周波数を切り替えても同位置の診断が可能となる。

【0085】分割する電極35の形状および数は、使用用途によって様々に変えることができる。例えば、上述の超音波の焦点を切換える場合には、細い超音波ビームを発振させるための電極35を複合圧電振動子の中央部に配置することなどが挙げられる。さらに、複合圧電振動子の片面の電極35のみを分割しても良いし、両面の電極35を分割しても良い。

【0086】例としては、複合圧電振動子の中心部と外

周部とで異なる体積の圧電体ロッド1を配置し、電極35を中心部と外周部とに分割して形成しても良い。図13に一例を示す。

【0087】図13(a)は、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有する圧電体ロッド1が形成された複合圧電振動子である。小さい体積の圧電体ロッド1が中心部に集まり、その周りに放射状に圧電体ロッド1の体積が増加するように圧電体ロッド1が配置されている。また、複合圧電振動子の図示しない反対側の面には、電極が全面に形成されているとする。

【0088】図13(b)は、図13(a)に示した複合圧電振動子上に形成するための分割された電極のパターンである。電極35は、中心部の小さい電極36と、この電極の周囲に位置する外周部の電極37とに分割されている。中心部の電極36は、図13(a)に示した小さい体積の圧電体ロッド1が集まっている部分に対応し、外周部の電極37は大きな体積の圧電体ロッド1が集まっている部分に対応している。両電極の間には、電極が形成されていないギャップが存在する。

【0089】図14は、図13(b)に示した分割電極が実際に形成された、図13(a)に示した複合圧電振動子を示している。なお、図14において、見やすくするために、分割電極36、37の下にある圧電体ロッド1も見えるようにしてある。

【0090】図14において、中心部の電極36により駆動される圧電体ロッド1は、体積が小さく、例えばアスペクト比が5程度であるような形状をなす。そのため、前述したように、例えば棒の縦振動(N33)モードで振動する。一方、外周部の電極37により駆動される圧電体ロッド1は、体積が大きく、例えばアスペクト比が0.5以下であるような形状をなすため、例えば板の厚み振動(Nt)モードで振動する。

【0091】従って、N33とNtとが異なる圧電材料を使用すれば、中心部と外周部とでは探触子として送受する周波数が異なる。従って、例えば中心部では約13MHz程度の中心周波数で駆動できるとともに外周部では約20MHz程度の中心周波数で駆動できる探触子を作製することができる。

【0092】図15に本発明に係る他の例を示す。図15(a)は、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有する図10(c)に示したような扇型の圧電体ロッド1を、同一中心に配置した複合圧電振動子をしめす。この複合圧電振動子は、中心の円形の圧電体ロッド38の周囲に3種類の体積を有する扇型の圧電体ロッド39、40、41が、外側ほど大きな体積となるように同一中心に配置された構造となっている。

【0093】図15(b)は、図15(a)に示した複合圧電振動子上に形成するための分割された電極のパタ

ーンである。図15(a)の複合圧電振動子の円形の圧電体ロッド38および扇型の圧電体ロッド39、40、41に対応して、分割された4種類の環状電極42～45が形成されている。電極46はアース電極である。それぞれの体積の圧電体ロッド1ごとに、一つの環状の電極で駆動することができるため、複数の周波数の超音波を送受することが可能となる。

【0094】なお、本発明においても、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる体積を有する複数の圧電体ロッド1として、少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる径を有する複数の圧電体ロッド1か、または少なくとも1つの圧電体ロッド1が他の圧電体ロッド1と異なる長手方向の長さを有する複数の圧電体ロッド1を用いることが可能であることは言うまでもない。

【0095】なお、本発明の実施の形態の各構成においても、当然、各種の変形、変更が可能である。また、本発明に係る複合圧電振動子は、圧電体ロッド1とともに電極端子接続部を有し、それぞれの圧電体ロッド1の2つの端面とともに電極端子接続部の端面が露出するように圧電体ロッド1間および圧電体ロッド1と電極端子接続部の間に有機物2が充填されていることが好ましい。そして、圧電体ロッド1と有機物2と電極端子接続部は一体に形成されていることが好ましい。

【0096】電極端子接続部を設けることにより、探触子として使用する際に、電極への配線を電極上で直接行うのではなく、電極端子接続部上で行うことができる。電極端子接続部上で配線を行うことができる結果、電極の下に充填されている有機物2に熱による損傷を与えることなく、半田やワイヤーボンディングといった結線が容易に行える。

【0097】形成する電極端子接続部は、1つであっても良いし、複数であっても良い。電極端子接続部を形成する材料としては特に限定されないが、耐熱性の高い材料であることが好ましい。耐熱性が高いことで、結線のさいに電極端子接続部自体が熱による損傷を受けることを極力抑えることができる。

【0098】耐熱性の高い材料としては、例えばセラミクス材料、金属材料などが挙げられる。絶縁体である必要はない。セラミクス材料としては、例えば、アルミナなどのほか、PZTなどの各種圧電セラミクス25材料などが挙げられる。また、金属材料としては例えば銅、ステンレス鋼などが挙げられる。

【0099】圧電セラミクス25材料を用いる場合には、前述の(6)研磨、電極付与、圧電性付与を行う工程において複合圧電振動子の両面に電極を形成するときに、両面の電極が同じ電極端子接続部に接触しないようにして用いる。

【0100】例えば、2つの電極端子接続部を設けた場合に、一方の面の電極は第1の電極端子接続部にのみ接

触し、他方の面の電極は第2の電極端子接続部にのみ接觸するように形成する。こうすることで、圧電セラミクス25からなる電極端子接続部に両面の電極によって電圧が印加されることがない。電圧が印加されないので、電極付与後の分極処理時に電極端子接続部に圧電性が付与されない。従って、超音波深触子として使用するときに、電極端子接続部から超音波が発振されないので、放射される超音波の音場に影響を与えずに、電極端子接続部を用いることができる。

【0101】また、金属材料を用いる場合にも、上述の圧電セラミクス25材料を使用するときと同様に、複合圧電振動子の両面へ電極を付与するときに、両面の電極が同じ電極端子接続部に接觸しないように形成する。こうすることで、金属からなる電極端子接続部によって両面に形成された電極が短絡することを防止しながら、電極端子接続部を用いることができる。

【0102】また、電極端子接続部は硬度の高い材料、特に圧電体ロッド1および有機物2よりも高度の高い材料から形成されていることが好ましい。このような材料からなる電極端子接続部を配置することで、研削加工時に電極端子接続部をスペーサとして、簡単に厚み精度よく研削ができ、安定した品質のものを歩留りよく作製可能になる。

【0103】さらに、電極端子接続部が電極材料と密着性の良い材料によって形成されていることが好ましく、こうすることで、電極端子接続部ひいては複合圧電振動子の耐久性能が向上する。

【0104】また、電極端子の形状は特に限定されないが、例えば複合圧電振動子の外周を覆うように形成されたものや、林立する圧電体ロッド1の中に形成されたものなどが挙げられる。

【0105】図16は、一例として、複合圧電振動子の圧電体ロッド1と平行な2つの側面に形成された電極端子接続部50を示す。図16(a)は平面図を示し、図16(b)は斜視図を示す。

【0106】また、図17には、図14に示した分割電極36、37を図16の電極端子接続部50上に形成した場合の一例を示す。分割電極36、37は、電極端子接続部50の上で半田やワイヤーボンディングなどによって外部配線と結線することができるため、圧電体ロッド1間に充填された有機物2に結線時の熱による損傷を与えることなく、外部と結線することができる。

【0107】また、図18には、図15(a)に示した異なる体積の複数の扇型の圧電体ロッド38～41を有する複合圧電振動子に、2箇所の電極端子接続部50を設けた例を示す。図18に示した複合圧電振動子上に、図15(b)に示した分割電極42～45を形成した場合には、やはり電極端子接続部50上で複数の環状電極に結線することができる。

【0108】電極端子接続部50を形成する方法として

は、前述の(4)シリコン型23を除去する工程においてシリコン型23をエッティング除去したのち、(5)有機物2を充填する工程を行う前に、圧電体ロッド1とともに電極端子接続部50を配置し、圧電体ロッド1の間、および圧電体ロッド1と電極端子接続部50との間に有機物2を充填して両者を一体化することなどが挙げられる。

【0109】なお、前述したように、硬度の高い材料で電極端子接続部50を形成したときには、最終的に得たい圧電体ロッド1の高さを有する電極端子接続部50を配置して有機物2により一体化したのち、電極端子接続部50をスペーサとして研削を行って、容易に所望の高さの圧電体ロッド1を得ることができる。

【0110】なお、ここで説明した本発明の実施の形態の各構成は、当然、各種の変形、変更が可能である。また、本発明に係る複合圧電振動子は、少なくとも1つの該圧電体ロッド1が他の該圧電体ロッド1と異なる組成を有することが好ましい。このように異なる組成を有する結果、一枚の複合圧電振動子が複数の性能を有することができるため、超音波深触子としての特性を向上させることができる。

【0111】例えば、異なる圧電定数を有する組成から圧電体ロッド1を形成する。一例としては、圧電定数d33の大きなものと圧電定数g33の大きなものから形成する。圧電定数d33の大きな物は、探触子としたときに、印加電圧に対する変形量が大きく、送信時の出力を上げることができる。また、圧電定数g33の大きなものは、探触子としたときに、応力に対する発生電圧が大きく、受信時の出力を上げることができる。

【0112】すなわち、圧電定数d33の大きなものにより強い音を出すことができ、また、圧電定数g33の大きなものにより、被検体の界面に反射して戻ってきたエコー波を効率よく電気信号に変換することができる。従って、探触子とした際の、感度が向上し、高精度化を達成できる。

【0113】また、圧電d33、g33以外に周波数定数N33、Ntの異なる材料を用いることで帯域を広げ、高分解能化が達成できる。さらに、機械的品質係数Qmの高い材料と低い材料の組み合わせをはじめ、2種類以上の複数の圧電材料を組み合わせることにより、探触子としての性能を上げることが可能である。

【0114】なお、異なる組成を有する圧電体ロッド1は配列がランダムであっても、規則的であっても良いが、それぞれ超音波の音場を考慮した配置とし別々の電極により駆動することが最も効果的である。

【0115】このような複合圧電振動子を形成する方法を、図19に示す。なお、図4および図5で行った説明と重複する部分は省略する。まず、図19(a)に示すように、ディープRIE法エッティングによりシリコン基板の両側に穴22および55を開ける。

【0116】次に、図19(b)に示すように、両面の穴22および55に異なる組成の圧電セラミクス56、57のスラリーを充填する。スラリーを乾燥、脱脂させたのち、HIP処理、シリコン型23の除去を行う。シリコン型23の除去は、図4(c)で説明したのと同じように、XeF<sub>2</sub>ガスなどのエッティング材を用いてエッティングすれば良い。エッティングは、シリコン型23の側面に露出したシリコンからシリコン型23の内部のシリコンへと進行するため、異なる組成の圧電セラミクス56、57にはさまれたシリコン型23を容易に除去することができる。

【0117】次に、図19(c)に示したように、シリコン型23を除去したあとに残った異なる組成の圧電セラミクス56、57を互いに向き合わせのち、有機物2を充填して固化させる。そして、例えば、破線部AおよびBまで研削・除去する。

【0118】最後に、図19(d)に示したように、異なる組成の圧電体ロッド58、59が露出した上下面に電極35を設ける。その後、分極処理を行う。以上のようにして、少なくとも1つの圧電体ロッドが他の圧電体ロッドと異なる組成を有する複合圧電振動子を作製することができる。

【0119】以上、本発明に係る実施形態に基づいて説明してきたが、本明細書には以下の発明が含まれる。

(1) 最も小さい体積を有する圧電体を中心部に配置し、その周りに放射状に圧電体の体積が増加するように圧電体が配置されているか、または最も大きい体積を有する圧電体を中心部に配置し、その周りに放射状に圧電体の体積が減少するように圧電体が配置されていることを特徴とする複合圧電振動子。

(2) 圧電体とともに電極端子接続部を有し、それぞれの圧電体の第1および第2の端面とともに該電極端子接続部の端面が露出するように圧電体間および圧電体と該電極端子接続部の間に有機物が充填されていることを特徴とする複合圧電振動子。

(3) 第1の端面または第2の端面に平行な圧電体の断面積が長手軸に沿って増加、または増加および減少することを特徴とする複合圧電振動子。

(4) 少なくとも1つの圧電体が他の圧電体と異なる組成を有することを特徴とする複合圧電振動子。

#### 【0120】

【発明の効果】以上、詳述したように、本発明によれば、樹脂と圧電体との間の密着性が高く、不要な振動が発生しない、微細で高密度化された複合圧電振動子を提供することが可能となる。その結果、耐久性が向上し、超音波深触子に使用したときにノイズの発生が少ない等の効果を奏する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る複合圧電振動子の一例を示す概略50 斜視図および平面図。

19

【図2】本発明に係る超音波深触子の先端部の一例を示す概略断面図。

【図3】本発明に係る複合圧電振動子を製造する方法の一例を示す工程図。

【図4】本発明に係る複合圧電振動子を製造する方法の一例を示す工程図。

【図5】本発明に係る複合圧電振動子を製造する方法の一例を示す工程図。

【図6】本発明に係るセラミクス保護膜の形成工程の一例を示す概略図。

【図7】本発明に係るHIP処理工程の一例を示す概略図。

【図8】本発明に係るHIP処理工程の一例を示す概略図。

【図9】本発明に係るHIP処理時の温度および圧力の変化の一例を示す図。

【図10】本発明に係る圧電体ロッドの形状の一例を示す概略斜視図。

【図11】本発明に係る圧電体ロッドの形状の一例を示す概略斜視図。

【図12】本発明に係る複合圧電振動子の一例を示す概略平面図。

【図13】本発明に係る複合圧電振動子およびこの振動子上に形成する分割電極の一例を示す概略平面図。

【図14】本発明に係る分割電極が形成された複合圧電振動子の一例を示す概略平面図。

20

【図15】本発明に係る複合圧電振動子およびこの振動子上に形成する分割電極の一例を示す概略平面図。

【図16】本発明に係る電極端子接続部を有する複合圧電振動子を示す概略平面図および斜視図。

【図17】本発明に係る分割電極が形成された電極端子接続部を有する複合圧電振動子の一例を示す概略平面図。

【図18】本発明に係る電極端子接続部を有する複合圧電振動子を示す概略平面図。

10 【図19】本発明に係る複合圧電振動子を製造する方法の一例を示す工程図。

【符号の説明】

1、38、39、40、41、…圧電体ロッド

2…有機物

20…シリコン基板

21…レジスト

22、55…穴

23…シリコン型

24…セラミクス保護膜

20 25、56、57…圧電セラミクス

26…保護用セラミクス粉体

29…ガラスカプセル

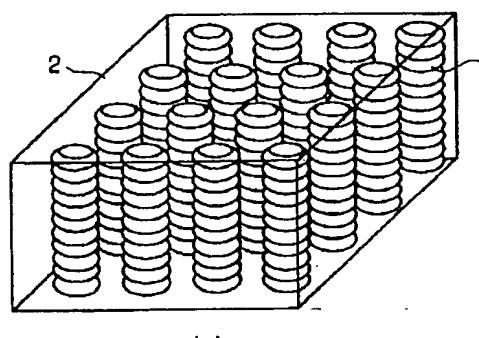
30…ガラス管

35、36、37、42、43、44、45、46、5

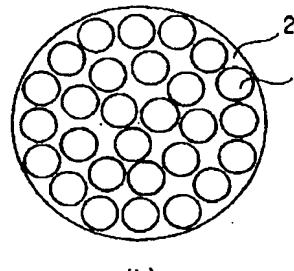
8、59…電極

50…電極端子接続部

【図1】

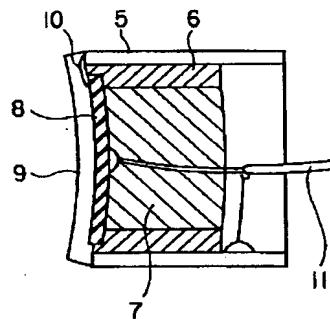


(a)

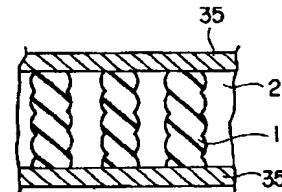


(b)

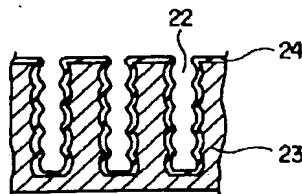
【図2】



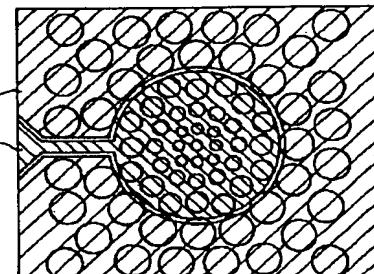
【図5】



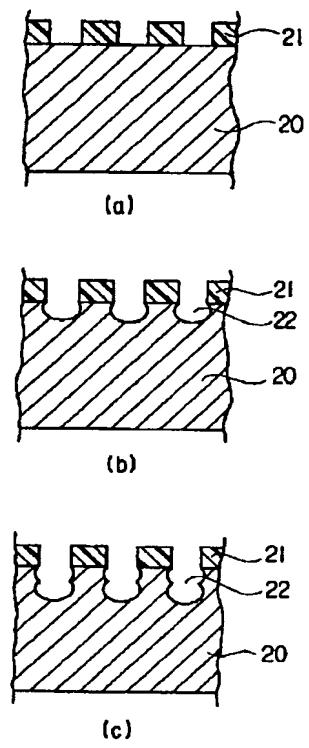
【図6】



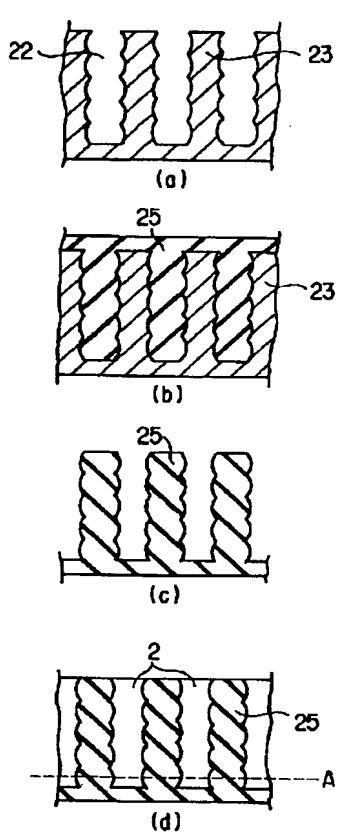
【図14】



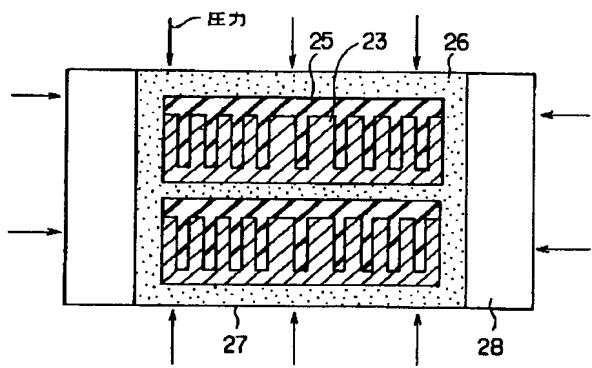
【図3】



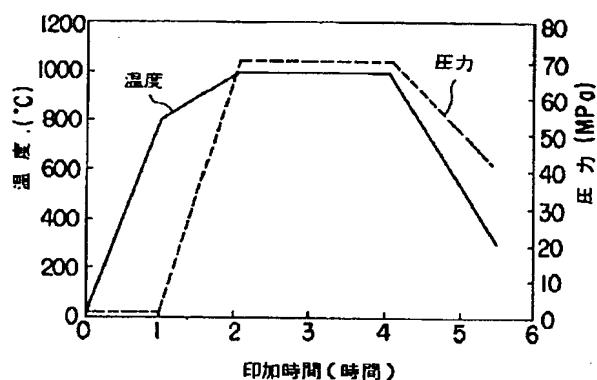
【図4】



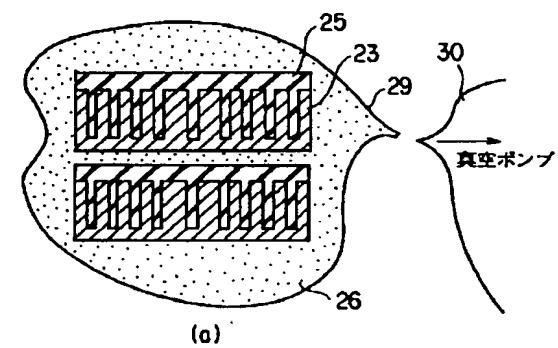
【図7】



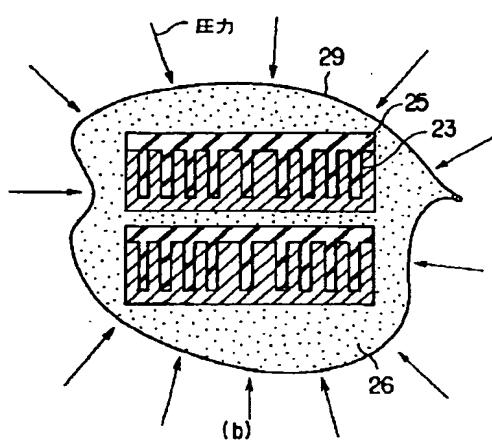
【図9】



【図8】

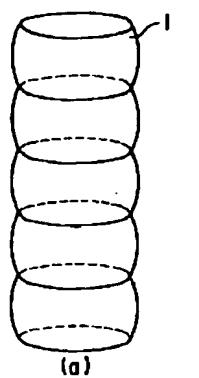


(a)

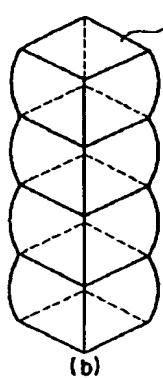


(b)

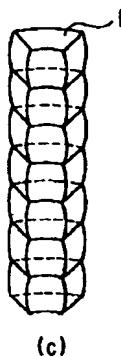
【図10】



(a)

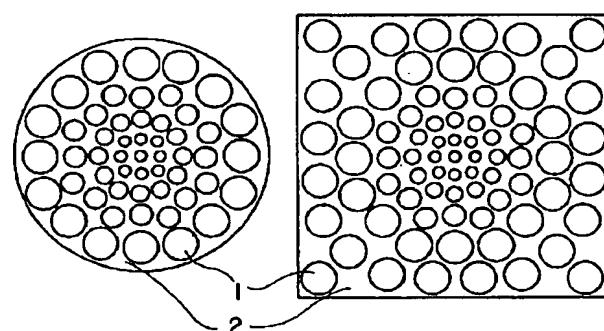


(b)

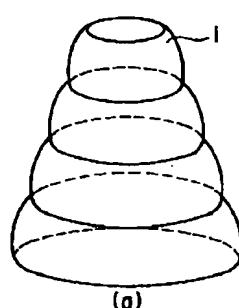


(c)

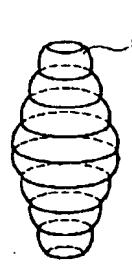
【図12】



【図11】



(a)

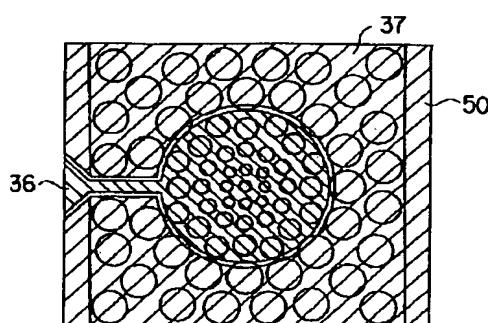


(b)

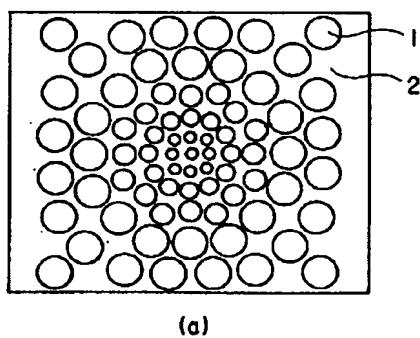


(c)

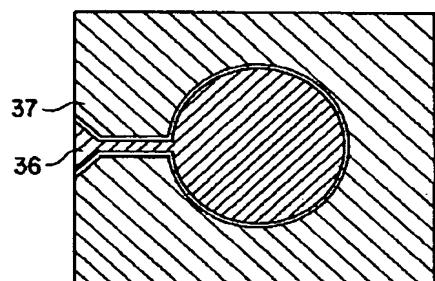
【図17】



【図13】

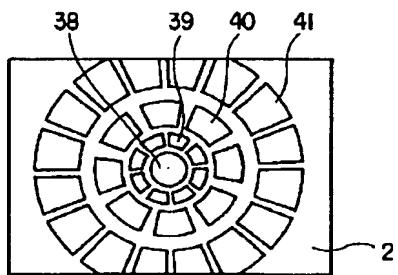


(a)

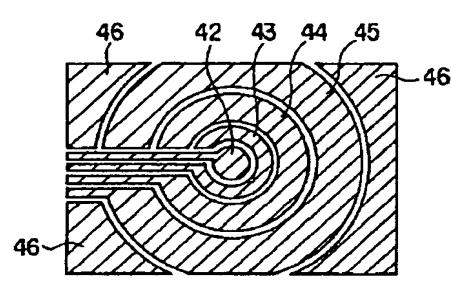


(b)

【図15】

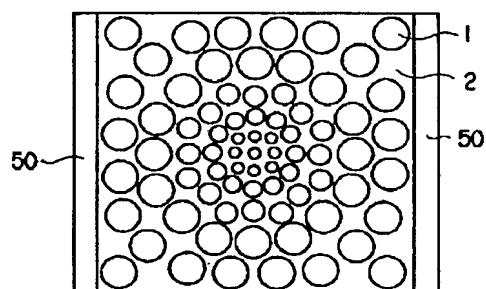


(a)

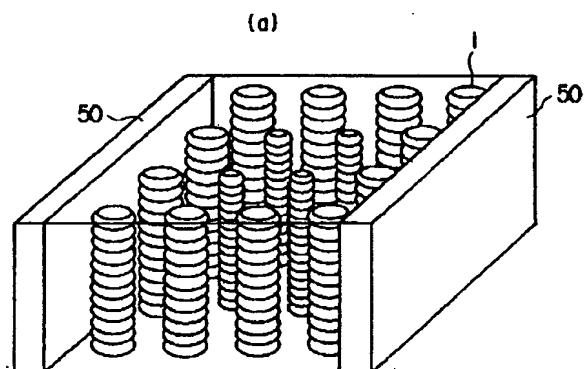


(b)

【図16】

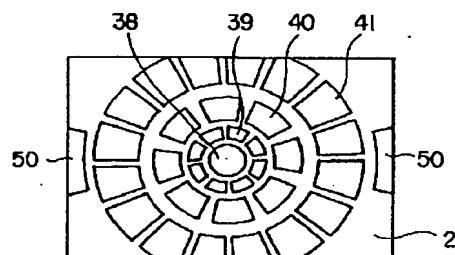


(a)



(b)

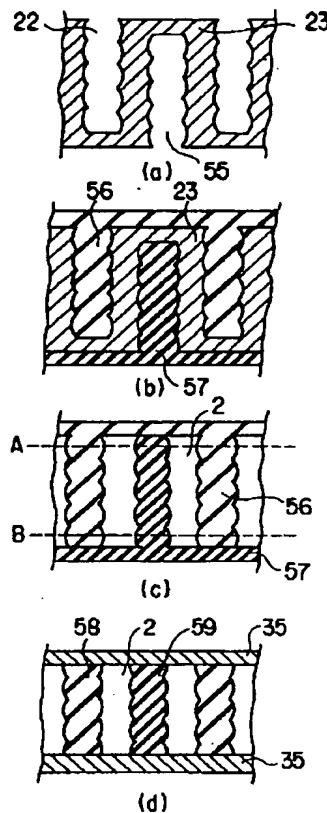
【図18】



50



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 江刺 正喜

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉無番地 東  
北大学内

(72)発明者 王 詩男

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉無番地 東  
北大学内

THIS PAGE BLANK (USPTO)